

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 658.512

doi: 10.30987/2658-6436-2025-1-21-27

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ РАСЧЕТА ВРЕМЕНИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ НА МНОГОЦЕЛЕВЫХ СТАНКАХ В МЕЛКОСЕРИЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Владислав Александрович Шпандарук^{1✉}, Александр Николаевич Феофанов^{2✉}

^{1, 2} МГТУ «СТАНКИН», г. Москва, Россия

¹ vlad.shpandaruk@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9898-8621>

² feofanov.fan1@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4761-0538>

Аннотация. Рассмотрены вопросы создания автоматизированной системы расчета времени изготовления корпусных деталей на многоцелевых станках в мелкосерийном производстве. Раскрывается актуальность данной темы в современном быстроменяющемся мире. Рассмотрены вопросы выбора оптимального оборудования при изготовлении вновь заказываемой продукции. Определяется время изготовления продукции на имеющемся на предприятии оборудовании с учетом материала, точности, формы, размеров, шероховатости и т.д. Находятся зависимости данных параметров от времени изготовления детали.

Ключевые слова: автоматизированная система, время изготовления, себестоимость продукции, производственное предприятие, опытное производство, мелкосерийное производство, расчет, анализ и выбор оптимального оборудования, управление производством

Для цитирования: Шпандарук В.А., Феофанов А.Н. Разработка автоматизированной системы расчета времени изготовления корпусных деталей на многоцелевых станках в мелкосерийном производстве // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении. 2025. №1 (27). С. 21-27. doi: 10.30987/2658-6436-2025-1-21-27.

Original article

Open Access Article

DEVELOPING AN AUTOMATED SYSTEM FOR CALCULATING THE MANUFACTURING TIME OF CASING PARTS ON MULTI-PURPOSE MACHINES IN SMALL-BATCH PRODUCTION

Vladislav A. Shpandaruk^{1✉}, Alexander N. Feofanov^{2✉}

^{1, 2} MSUT «STANKIN», Moscow, Russia

¹ vlad.shpandaruk@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9898-8621>

² feofanov.fan1@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4761-0538>

Abstract. This paper examines the creation of an automated system for calculating the manufacturing time of casing parts on multi-purpose machines in small-batch production. The work highlights the relevance of this theme in today's rapidly changing world; discusses the issues related to selecting the optimal equipment for manufacturing newly ordered products. The work determines the production time for goods manufactured at the enterprise's existing equipment, taking into account material, precision, shape, dimensions, roughness, and other factors; establishes the relationships between these parameters and the part manufacturing time.

Keywords: automated system, production time, production cost, manufacturing enterprise, pilot production, small-batch production, calculation, analysis and selection of optimal equipment, production management

For citation: Shpandaruk V.A., Feofanov A.N. Developing an Automated System for Calculating the Manufacturing Time of Casing Parts on Multi-Purpose Machines in Small-Batch Production. Automation and modeling in design and management, 2025, no. 1 (27). pp. 21-27. doi: 10.30987/2658-6436-2025-1-21-27.

Введение

Современное машиностроение характеризуется постоянным ростом требований к качеству и точности изготовления изделий, что особенно актуально в условиях мелкосерийного производства. При этом одним из ключевых факторов успешного функционирования производства является планирование и управление трудозатратами. Важность расчета трудоемкости операций производства корпусных деталей возрастает в связи с ростом сложности геометрии изделий и технологических процессов их обработки.

Традиционные методы расчета трудоемкости, основанные на нормативных данных, часто оказываются недостаточно точными и оперативными [1]. В условиях мелкосерийного производства, где продукция постоянно меняется, требуется внедрение автоматизированных систем расчета трудоемкости. Данная система позволит оперативно рассчитывать трудоемкость процесса, оценивать себестоимость и целесообразность выполнения заказа на ранних стадиях проектирования. Более того, поскольку одно и то же изделие может изготавливаться за разное время на различных видах оборудования, система будет учитывать эти различия и предоставлять возможность выбора наиболее эффективного варианта производства [2].

Фрезерная обработка на станках с числовым программным управлением (ЧПУ) является одним из наиболее распространенных методов механической обработки корпусных деталей. Разработка системы, позволяющей автоматизировать процесс расчета трудоемкости для фрезерной обработки, является важной задачей, способной значительно повысить эффективность производства.

Актуальность исследования

Производственные процессы требуют все более точного и быстрого расчета времени на выполнение операций. Мелкосерийное производство, с его высокой вариативностью и небольшими партиями, требует особого подхода к планированию, так как каждый запуск новой детали требует точных расчетов, чтобы избежать потерь. В этих условиях разработка автоматизированной системы расчета времени для многоцелевых станков, особенно на ранних этапах подготовки производства, становится важной задачей. Такая система позволит не только оценить время изготовления новой детали, но и на основе этих данных рассчитать её себестоимость и определить, насколько выгодно для предприятия производство данной детали.

Кроме того, важно учитывать, что время изготовления одной и той же детали может варьироваться в зависимости от типа используемого оборудования. Разработка системы, которая позволит рассчитать время для разных вариантов станков, является важным шагом для оптимизации производственных процессов и повышения их эффективности.

Анализ существующих систем

В настоящее время существует достаточное количество автоматизированных систем для определения трудоемкости. Самые популярные из них:

1. *ADEM. NTR*. Модуль «Нормирования и технологические расчеты» позволяет произвести нормирование в автоматизированном режиме для механической обработки и сборки.
2. Система *T-FLEX* Технологическое нормирование. Система реализована на базе программы *T-FLEX* Технология для инженеров-технологов.
3. СПРУТ-ТП «Нормирование».
4. Нормирование труда. Аскон.
5. САПР-ТП «Линейка».

Были рассмотрены достоинства и недостатки каждой из рассмотренных систем. Результаты приведены в табл. 1.

Сравнительный анализ существующих систем

Table 1

Comparative analysis of existing systems

Функция системы/Наименование		ADEM. NTR	СПРУТ-ТП «Нормирование»	Система T-FLEX Технологическое нормирование	Нормирование труда. Аскон	САПР-ТП «Линейка»
Нормирование на стадии разработки ТП		+	+	+	+	+
Нормирование на ранних стадиях подготовки производства		+	-	-	-	+
Работает как самостоятельная система		-	+	+	+	+
Учитывает при расчетах вариативность оборудования, инструмент и режимы резания		+	+	+	+	+
Требует высокую квалификацию нормировщика	Нормирование на ранних стадиях подготовки производства	-				+
Обладает высокой точностью нормирования		-				-
Учитывает при расчетах вариативность оборудования		+				-
Учитывает при расчетах инструмент и режимы резания		+				+

По результатам анализа видно, что существующие автоматизированные системы или отдельные модули для нормирования технологических процессов широко применяются в производстве для нормирования ТП. Прогнозное нормирование или нормирования на ранних стадиях подготовки производства применяется только в некоторых системах, ADEM. NTR и САПР-ТП «Линейка». В ADEM. NTR нормирование производится по деталям аналогам и не учитывает вариативность имеющегося на предприятии оборудования, поэтому не обладает высокой точностью. В САПР-ТП «Линейка» нормирование происходит по информационной модели изделия, которая определяется по параметрам детали, в связи с чем возникает необходимость в высокой квалификации нормировщика, который должен провести углубленный анализ конструкторской документации. А также САПР-ТП «Линейка» не учитывает имеющееся на предприятии оборудование, что не позволяет с высокой точностью оценить норму времени. ADEM. NTR и САПР-ТП «Линейка» хорошо подходят для нормирования на ранних стадиях подготовки производства в массовом и серийном производстве с однотипным парком станков [3].

Исходя из этого задача разработки автоматизированной системы расчета времени изготовления корпусных деталей на многоцелевых станках в мелкосерийном производстве является актуальной задачей, особенно на ранней стадии подготовки производства, когда еще не разработан технологический процесс и нет определенности на каком оборудовании будет производиться деталь.

Описание системы

АСРВИД – автоматизированная система расчета времени изготовления корпусных деталей на многоцелевых станках в мелкосерийном производстве. Главная задача данной системы – это быстрый и качественный расчет времени изготовления корпусных деталей для разного, имеющимся на предприятии, оборудования, с последующим расчетом стоимости данной детали.

Автоматизированная система расчета трудоемкости состоит из нескольких взаимосвязанных модулей, каждый из которых выполняет свою функцию. Структура системы включает следующие компоненты (рис. 1):

- 1) модуль ввода данных: при помощи этого модуля происходит ввод данных с систему;
- 2) модуль подбора оборудования: этот модуль производит подбор подходящего оборудования для изготовления детали;
- 3) модуль расчета времени изготовления: основной модуль, который на основе введенных данных производит расчеты времени изготовления. Этот модуль использует специальные алгоритмы и модели для учета всех факторов, влияющих на трудоемкость;
- 4) модуль вывода данных. Интерфейс пользователя: система должна иметь удобный интерфейс для ввода и редактирования данных, а также для просмотра результатов расчетов.



Рис. 1. Структура автоматизированной системы
 Fig. 1. The structure of the automated system

Далее рассмотрим каждый модуль более подробно.

Модуль ввода данных. В данном модуле пользователю необходимо ввести такие данные как: размер заготовки; марку материала; объем детали; наличие термической обработки по конструкторской документации; наличие гальванической обработки по конструкторской документации; наличие лакокрасочных покрытий по конструкторской документации; минимальный внутренний радиус скругления; максимальный допуск отклонения формы и расположения поверхностей; максимальный допуск на линейные размеры; максимальный допуск на межосевые размеры; максимальный допуск на отверстия; необходимость применения 5-ти осевого оборудования; количество деталей.

Модуль подбора оборудования. Данный модуль подбирает подходящее оборудование для изготовления детали. Для каждого из подобранных станков будет подсчитано время изготовления. Также будет предложен вариант с использованием разного оборудования для черновой, получистовой и чистовой обработки.

Модуль сравнивает данные о детали с данными об оборудовании, которые берет из таких баз данных как: ТОИР 1С, ADEM и т.д. Ниже приведена блок-схема подбора оборудования.

Модуль расчета времени изготовления детали. Это основной модуль системы, который производит расчет трудоемкости изготовления детали. Для определения трудоемкости были проанализированы данные более ста деталей изготавливаемых на производстве на разном оборудовании и получены следующие зависимости влияющие на трудоемкость изготовления:

- 1) время изготовления корпусных деталей на многоцелевых фрезерных станках с ЧПУ это 90 – 95 % времени механической обработки, 3 % – контрольных операций, 2 % – промывочных, 0 – 1,5 % – термических, 0 – 0,8 % – гальванических, 0 – 1,5 % – лакокрасочных операций [4];

- 2) время механической обработки корпусных деталей – это 90 % времени фрезерной обработки с ЧПУ, 10 % – слесарная, заготовительная операции [5].

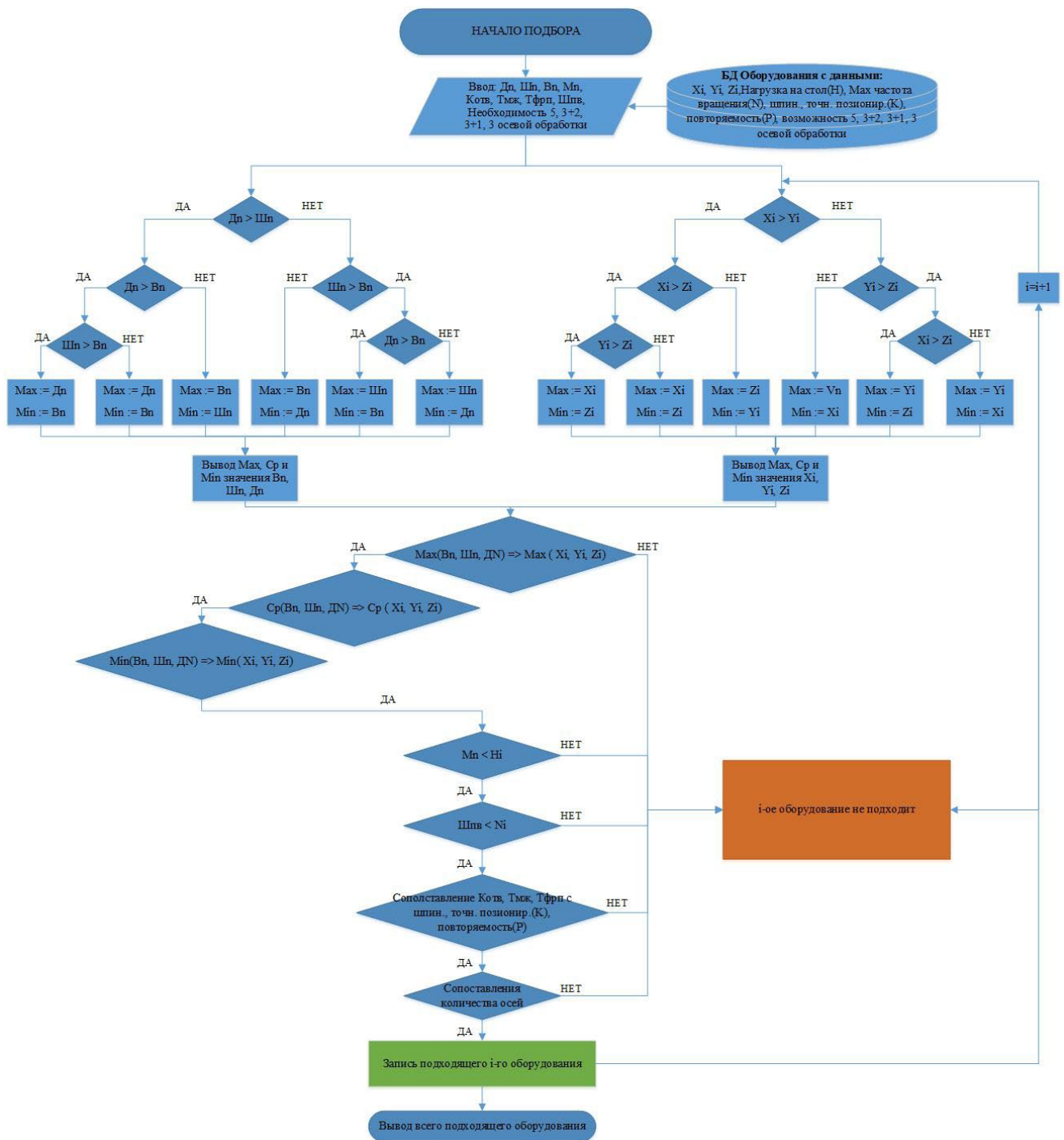


Рис. 2. Блок-схема подбора оборудования
 Fig. 2. Block diagram of equipment selection

Исходя из полученных зависимостей и на основе метода определения трудоемкости по объему материала, удаленного инструментом (ОМУИ), была получена следующая формула расчета трудоемкости [6].

$$T_{\text{общ}} = T_{\text{мех.обр}} + T_{\text{гал.обр}} + T_{\text{лак.пк}} + T_{\text{тер.обр}} + T_{\text{промывка}} + T_{\text{кон.оп}} = 1,15 \cdot \left(1,08 \sum \frac{V_{\text{обр}i}}{S_{\text{инст}i} \cdot D_i \cdot h_i \cdot k_i} + \frac{0,2 \sum \frac{V_{\text{обр}i}}{S_{\text{инст}i} \cdot D_i \cdot h_i \cdot k_i}}{n} \right),$$

где $T_{\text{мех.обр}}$ – трудоемкость механической обработки, $T_{\text{гал.обр}}$ – трудоемкость гальванической обработки, $T_{\text{лак.пк}}$ – трудоемкость лакокрасочного покрытия, $T_{\text{тер.обр}}$ – трудоемкость термообра-

ботки, $T_{\text{промывка}}$ – трудоемкость операций промывка, $T_{\text{кон.оп}}$ – трудоемкость проверочных и контрольных операций, $V_{\text{обр}}$ – объем обрабатываемого материала, h – глубина резания, k – коэффициент перекрытия инструмента, D – диаметр инструмента, n – количество деталей.

Модуль вывода данных. Интерфейс пользователя. На пользовательских интерфейсах выводятся данные расчета трудоемкости корпусной детали на разном оборудовании в табличном виде:

Результаты расчета трудоемкости изготовления детали

Таблица 2

The results of calculating the complexity of manufacturing the part

Table 2

Подобранное оборудование	Время изготовления на данном оборудовании, K
Станок 1	K_1
Станок 2	K_2
Станок 3	K_3
Станок i -ый	K_i

Обсуждение результатов

Результаты экспериментов показали, что внедрение автоматизированной системы расчета трудоемкости позволяет значительно сократить время на выполнение расчетов и повысить их точность. Это особенно важно в условиях мелкосерийного производства, где часто требуется переналадка оборудования и расчет новых режимов работы для каждой партии продукции.

Тем не менее, система требует доработки в плане интеграции с существующими MES, ERP-системами предприятия. На текущий момент она работает автономно и требует ручного ввода данных, что может быть оптимизировано в будущем.

Заключение

Разработка автоматизированной системы расчета трудоемкости для мелкосерийного производства показала свою эффективность. Система позволяет сократить время на выполнение расчетов на 66 %, повысить точность до 98 %.

Данная система позволяет:

- 1) автоматизировать расчет трудоемкости;
- 2) технологической службе на начальном этапе определиться с выбором оптимального оборудования;
- 3) сократить время выдачи коммерческого предложения заказчику в 2 – 3 раза;
- 4) определиться с максимально выгодным технологическим процессам изготовления детали;
- 5) повышать гибкость производства, что особенно важно для мелкосерийного производства;
- 6) при дальнейшей интеграции с ERP-системами может повысить эффективность всей производственной цепочки.

Библиографический список:

Bibliographic list:

1. Юсупова С.М. Регламентация и нормирование труда: учебное пособие. – Саратов, 2015. – 147 с.
2. Далечин А.С., Фефанов А.Н. Разработка модели подсистемы автоматизированной компоновки агрегатного станка на примере корпусных деталей с целью уменьшения трудоемкости проектирования технологического оборудования // Вестник МГТУ «Станкин». – 2024. – № 1(68). – С. 159-167.

1. Yusupova S.M. Regulation and Standardization of Labour. Saratov; 2015.
2. Dalechin A.S., Feofanov A.N. Development of the Subsystem Model of Automated Layout of Rotary Transfer Machine on the Example of Body Parts in Order to Reduce the Complexity of Designing Technological Equipment. Vestnik MSTU «Stankin». 2024;1(68): 159-167.

3. Шпандарук В.А. Анализ существующих автоматизированных систем расчета трудоемкости механических операций на ранних стадиях подготовки производства // Научный аспект. – 2024. – Т. 31. – № 3. – С. 3893-3898.

4. Морозов И.М., Гузеев В.И., Фадюшин С.А. Техническое нормирование операций механической обработки деталей: учебное пособие. – Челябинск, 2005. – 67 с.

5. Шпандарук В.А. Повышение качества расчета трудоемкости изготовления корпусной детали на фрезерном станке с ЧПУ по методу определения объема материала, срезаемого инструментом // СМИС-2024. Технологии управления качеством: Материалы Международной научно-технической конференции, Москва, 22–24 мая 2024 года. – Москва: Московский Политех, 2024. – С. 267-273.

6. Феофанов А.Н., Шпандарук В.А. Повышение оперативности расчета трудоемкости изготовления корпусной детали на фрезерном станке с ЧПУ по методу определения объема материала, срезаемого инструментом // Вестник МГТУ «Станкин». – 2024. – № 3 (70). – С. 122–131.

3. Shpandaruk V.A. Analysis of Existing Automated Systems for Calculating the Labour Intensity of Machining Operations at the Early Stages of Production Preparation. Scientific Aspect. 2024;31(3):3893-3898.

4. Morozov I.M., Guzeev V.I., Fadyushin S.A. Technical Regulation of Operations of Machining Parts. Chelyabinsk; 2005.

5. Shpandaruk V.A. Improving the Quality of Calculating the Complexity of Manufacturing a Body Part on a CNC Milling Machine by the Method of Determining the Volume of Material Cut by the Tool. In: Proceedings of the International Scientific and Technical Conference on Quality Management Technologies SMIS-2024; 2024 May 22-24; Moscow: Moscow Polytechnic Institute: 2024. p. 267-273.

6. Feofanov A.N., Shpandaruk V.A. Increasing the Efficiency of Calculating the Labour Intensity of Manufacturing a Body Part on a CNC Milling Machine Using the Method of Determining the Volume of Material Cut by the Tool. Vestnik MSTU «Stankin». 2024;3(70): 122-131.

Информация об авторах:

Шпандарук Владислав Александрович
аспирант 4-го года обучения, Московский государственный технологический университет «Станкин».

Феофанов Александр Николаевич
доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Инженерная графика», Московский государственный технологический университет «Станкин».

Information about the authors:

Shpandaruk Vladislav Alexandrovich
4th year postgraduate student of Moscow State University of Technology «Stankin».

Feofanov Alexander Nikolaevich
Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor at the Department of Engineering Graphics of Moscow State University of Technology «Stankin».

**Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.**

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflicts of interests.**

Статья поступила в редакцию 22.10.2024; одобрена после рецензирования 06.11.2024; принята к публикации 19.11.2024.

The article was submitted 22.10.2024; approved after reviewing 06.11.2024; accepted for publication 19.11.2024.

Рецензент – Пугачев А.А., доктор технических наук, доцент, Брянский государственный технический университет.

Reviewer – Pugachev A.A., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Bryansk State Technical University.